



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 0 825 702 A1

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
25.02.1998 Patentblatt 1998/09

(51) Int Cl.⁶ H02J 9/06

(21) Anmeldenummer: 97810434.7

(22) Anmeldetag: 02.07.1997

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC
NL PT SE
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV RO SI

(30) Priorität: 25.07.1996 EP 96810493

(71) Anmelder:
• LUST ANTRIEBSTECHNIK GmbH
35633 Lahnau-Waldgirmes (DE)
• Sulzer Electronics AG
8409 Winterthur (CH)

(72) Erfinder:
• Gerster, Christoph, Dr.
8037 Zürich (CH)
• Schöb, Reto, Dr.
8604 Volketswil (CH)
• Gempp, Thomas
4153 Reinach (CH)

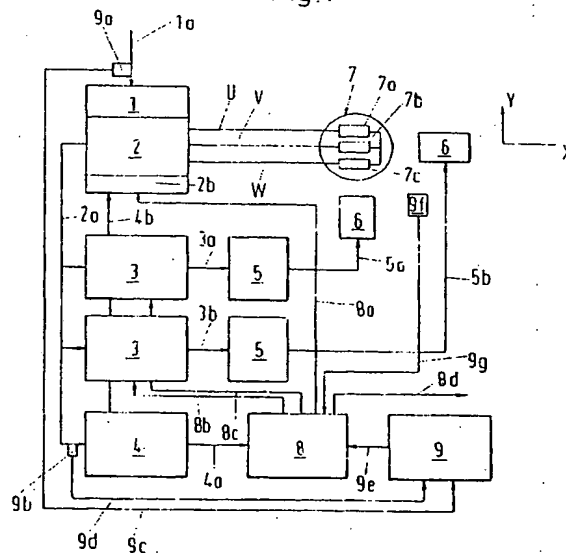
(74) Vertreter: Heubeck, Bernhard
Sulzer Management AG,
KS Patente/0007,
Zürcherstrasse 12
8401 Winterthur (CH)

(54) Anordnung und Verfahren zum Betreiben einer magnetgelagerten, elektromotorischen Antriebsvorrichtung bei einer Netzstörung

(57) Die Anordnung zum Betreiben einer magnetgelagerten, elektromotorischen Antriebsvorrichtung (7) bei einer Netzstörung umfasst ein die Antriebsvorrichtung (7) speisender Antriebsumrichter (2), eine ein Magnetlager speisende Stellvorrichtung (3) sowie ein Spannungswandler (4), welche an einem gemeinsamen Zwischenkreis (2a) angeschlossen sind, wobei der

Spannungswandler (4) eine Anhaltesteuervorrichtung (8) speist, und wobei beim Auftreten einer Netzstörung der Antriebsumrichter (2) durch die Anhaltesteuervorrichtung (8) in einen regenerativ wirkenden Arbeitsmodus umschaltbar ist, um zumindest die das Magnetlager speisende Stellvorrichtung (3) und die Anhaltesteuervorrichtung (8) über den Zwischenkreis (2a) mit elektrischer Energie zu versorgen.

Fig.1



Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zum Betreiben einer magnetgelagerten, elektromotorischen Antriebsvorrichtung gemäss dem Oberbegriff von Anspruch 1 sowie ein Verfahren zum Betreiben einer magnetgelagerten, elektromotorischen Antriebsvorrichtung gemäss den Oberbegriff von Anspruch 5.

Es ist bekannt, rotierende Vorrichtungen wie Elektromotoren durch aktive, elektrisch angesteuerte Magnetlager berührungsfrei zu lagern. Solche Vorrichtungen erfordern aufwendige Sicherungsvorrichtungen gegen Netzunterbrüche, um bei einem Stromausfall einen unkontrollierbaren und abrupten Abbau der magnetischen Lagerkraft zu verhindern. Aus der EP 0 430 009 ist eine Anordnung bekannt, welche beim Auftreten eines Stromunterbruches einen magnetisch gelagerten Rotor sicher zum Stillstand bringt. Diese Anordnung verwendet als Hilfsenergiequelle Batterien, welche bei einem Stromunterbruch aktiviert werden, um die elektromagnetischen Lager sowie die Ansteuerlektronik bis zum sicheren Stillstand des Rotors mit elektrischer Energie zu versorgen. Eine derartige Hilfsenergiequelle weist den Nachteil auf, dass sie relativ teuer ist, insbesondere wenn der Rotor relativ schwer ausgestaltet ist. Ein weiterer Nachteil ist darin zu sehen, dass die Hilfsenergiequelle einen ständigen Wartungsaufwand erfordert.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine Anordnung sowie ein Verfahren zum Betreiben einer magnetgelagerten, elektromotorischen Antriebsvorrichtung bei Netzstörungen vorzuschlagen, welche wirtschaftlich vorteilhafter ausgestaltet ist.

Diese Aufgabe wird gelöst mit einer Anordnung gemäss den Merkmalen von Anspruch 1. Die Unteransprüche 2 bis 4 beziehen sich auf weitere, vorteilhafte Ausgestaltungen der Anordnung. Die Aufgabe wird weiter gelöst mit einem Verfahren gemäss den Merkmalen von Anspruch 5. Die Unteransprüche 6 bis 12 beziehen sich auf weitere, vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens.

Die erfindungsgemässe Anordnung zum Betreiben einer magnetgelagerten, elektromotorischen Antriebsvorrichtung bei einer Netzstörung weist einen die Antriebsvorrichtung speisenden Antriebsumrichter, eine ein Magnetlager speisende Stellvorrichtung sowie einen Spannungswandler auf, welche an einem gemeinsamen Zwischenkreis angeschlossen sind, wobei der Spannungswandler eine Anhaltesteuervorrichtung speist, und wobei beim Auftreten einer Netzstörung der Antriebsumrichter durch die Anhaltesteuervorrichtung in einen regenerativ wirkenden Arbeitsmodus umschaltbar ist, um zumindest die das Magnetlager speisende Stellvorrichtung und die Anhaltesteuervorrichtung über den Zwischenkreis mit elektrischer Energie zu versorgen. Beim Auftreten eines Netzausfalles oder einer Netzunterspannung wird somit die im rotierenden Teil gespeicherte kinetische Energie mit Hilfe der elektro-

torischen Antriebsvorrichtung sowie des Antriebsumrichters teilweise in elektrische Energie umgewandelt, um einerseits den rotierenden Teil schnell abzubremsen, und um andererseits mit der erzeugten elektrischen Energie zumindest die Magnetlager sowie eine Anhaltesteuervorrichtung bis zum sicheren Anhalten und Ausserbetriebsetzen der Antriebsvorrichtung weiterhin zu betreiben. Bei einer sehr kurzfristig auftretenden Netzstörung, wie einer kurzen Netzunterspannung, wird der Antriebsumrichter durch die Anhaltesteuervorrichtung in einen regenerativ wirkenden Arbeitsmodus umgeschaltet, um zumindest für den Betrieb der Magnetlager genügend elektrische Energie zur Verfügung zu stellen. Sofern die Netzstörung derart kurzfristig ausfällt, dass der rotierende Teil der Antriebsvorrichtung bei der Rückkehr des Netzes in einen Normalzustand immer noch magnetisch gelagert ist, wird die Anhaltesteuervorrichtung den Antriebsumrichter in einen antreibend wirkenden Arbeitsmodus umschalten, um den Motor wieder auf eine Nenndrehzahl zu bringen. Somit können sehr kurzfristig dauernde Netzstörungen überbrückt werden, ohne die Antriebsvorrichtung vollständig abzubremsen und die rotierende Welle in eine Ruhelage abzusenken.

Ein Vorteil der Erfindung ist darin zu sehen, dass die Magnetlager sowie die Ansteuerlektronik der elektromotorischen Antriebsvorrichtung bei einem Netzunterbruch weiterhin mit elektrischer Energie versorgt werden, ohne die Notwendigkeit von teuren Batteriespeichern oder sonstigen externen Energiespeichern.

Der die Antriebsvorrichtung speisende Antriebsumrichter ist derart ausgestaltet und wird derart geregelt, dass die Antriebsvorrichtung regenerativ abbremssbar ist, indem dem rotierenden Teil des Motors Rotationsenergie entzogen wird, und die daraus regenerativ erzeugte elektrische Energie über den gemeinsamen Zwischenkreis den Magnetlagern zur Verfügung steht. Somit steht, zumindest so lange der rotierbare Teil sich dreht, elektrische Energie für die magnetischen Lager zur Verfügung, um eine tragende magnetische Kraft zu erzeugen.

Der Antriebsumrichter sowie die elektromotorische Antriebsvorrichtung werden vorzugsweise mit einer Antriebsregelungsvorrichtung gesteuert, die als Vektorregelungsvorrichtung ausgebildet ist und den Betrieb nach einem Vektorregelverfahren bzw. einer feldorientierten Regelung steuert, was den rotierenden Teil bis zu einer Drehzahl von Null oder zumindest annähernd Null abzubremsen erlaubt, wobei dem rotierenden Teil ständig Energie entzogen wird. Mit der Vektor- bzw. feldorientierten Regelung ist es möglich, auch bei einer Netzstörung bzw. einem Netzunterbruch die Spannung im Zwischenkreis auf einen im Vergleich zum normalen Betriebszustand gleich grossen oder sogar grösseren Wert zu regeln, und diese Spannung im Zwischenkreis zumindest solange aufrechtzuerhalten bis entweder die Drehzahl des rotierenden Teils auf Null oder annähernd Null gesenkt ist, oder bis die Netzspannung wieder zur

Verfügung steht.

Das Vektorregelverfahren bzw. die feldorientierte Regelung ist ein an sich bekanntes Verfahren, zum Beispiel aus dem Buch "Vector-Control of AC-Machines, Peter Vas, Clarendon-Press, Oxford, 1990". Auch wird beispielsweise in dem Buch "Digitale Regelung elektrischer Antriebe", Rolf Schönfeld, Dr. Alfred Hüthig Verlag, Heidelberg, 1988 das Verfahren der feldorientierten Steuerung behandelt.

Die Begriffe Vektorregelung und feldorientierte Regelung werden üblicherweise mit der gleichen Bedeutung verwendet. Deshalb ist auch im folgenden der Begriff "Vektorregelung" als Synonym für den Begriff "feldorientierte Regelung" zu verstehen.

Der Antriebsumrichter, die die Magnetlager speisenden Stellvorrichtungen sowie den Spannungswandler für die Anhaltesteuervorrichtung, welche über den Zwischenkreis miteinander verbunden sind, sind als getaktete Stellglieder ausgestaltet, und weisen jeweils einen Energiespeicher, üblicherweise als Kondensator ausgestaltet, auf. Die darin gespeicherte Energie wird vorteilhafterweise verwendet, um nach dem Stillstand des Rotors noch weitere Regelschritte auszuführen. In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird die im Zwischenkreis nach dem Stillstand der Antriebsvorrichtung noch verfügbare Energie derart bemessen, dass einer Anhaltesteuervorrichtung noch genügend Energie zum Absenken des Rotors in eine definierte Ruhelage zur Verfügung steht. In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird der Antriebsumrichter während dem regenerativ wirkenden Arbeitsmodus derart als gesteuerter Gleichrichter betrieben, dass die an den Zwischenkreis zurückgespeiste Spannung der bisher am Zwischenkreis anliegenden Spannung entspricht oder diese sogar übersteigt. Während dem Umkehrbetrieb des Antriebsumrichters wird damit aus der tieferen Motorspannung der Antriebsvorrichtung eine höhere Zwischenkreisspannung erzeugt. Diese erhöhte Zwischenkreisspannung ist dank der verwendeten Vektorregelung über einen grossen Drehzahlbereich der Antriebsvorrichtung, bis annähernd zum Stillstand des Rotors, erzeugbar. Ein Vorteil dieser Anordnung ist darin zu sehen, dass die mit dem Zwischenkreis verbundenen Energiespeicher wie Kondensatoren beim Stillstand des Rotors eine annähernd maximale mögliche Energie gespeichert haben, welche nach dem Stillstand zum kontrollierten Ausserbetriebsetzen bzw. Ausschalten der Magnetlager zur Verfügung steht. Vorteilhafterweise steht der Anhaltesteuervorrichtung und den Stellvorrichtungen der Magnetlager noch mehrere Sekunden nach dem Stillstand des Rotors elektrische Energie zur Verfügung, um ein kontrolliertes Absenken des Rotors und ein kontrolliertes Abschalten der Anordnung zu erlauben.

Die Antriebsvorrichtung ist vorzugsweise als eine elektrische Maschine, wie eine Synchronmaschine, eine Asynchronmaschine bzw. eine Induktionsmaschine, eine bürstenlose Gleichstrommaschine oder eine Re-

luktanzmaschine ausgestaltet. Die Anhalteteuervorrichtung kann auch als ein Teil des Antriebsumrichters ausgestaltet sein.

Die Erfindung wird an Hand eines Ausführungsbeispiels im Detail beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung der erfindungsgemässen Anordnung;

Fig. 2 der zeitliche Verlauf relevanter Grössen während einem Anhaltvorgang;

Fig. 3 der zeitliche Verlauf relevanter Grössen während einer sehr kurzfristigen Netzstörung.

Fig. 1 zeigt schematisch ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemässen Anordnung. Ein Netzgleichrichter 1 wird von einem ein- oder dreiphasig ausgestalteten elektrischen Netz 1a gespeist. Die im Netz anliegende Spannung wird von einem Spannungssensor 9a überwacht und über eine Signalleitung 9c einer Überwachungsvorrichtung 9 zugeführt, welche das Auftreten eines Netunterbruches überwacht. Ein Antriebsumrichter 2 bezieht vom Netzgleichrichter 1 die elektrische Energie und wird von einer Antriebsregelungsvorrichtung 2b derart angesteuert, dass die elektromotorische Antriebsvorrichtung 7, im vorliegenden Beispiel als eine dreiphasige Asynchronmaschine 7 mit drei Spulen 7a, 7b, 7c ausgestaltet, über die drei elektrischen Zuleitungen U, V, W phasengerecht mit elektrischem Strom versorgt wird. Der Antriebsumrichter 2 speist zudem über einen gemeinsamen Gleichstromzwischenkreis 2a zwei Magnetlagersteller 3 sowie einen Spannungswandler 4. Der Magnetlagersteller 3, auch als ein Magnetlagerverstärker bezeichnet, speist über eine elektrische Leitung 3a, 3b, 5a, 5b ein Magnetlager 6. Im dargestellten Ausführungsbeispiel sind zwei Magnetlager 6 dargestellt, ein in vertikaler Richtung Y und ein in horizontaler Richtung X wirkendes, um die rotierende Welle der Asynchronmaschine 7 an einer Lagerstelle berührungsfrei zu lagern. Nicht dargestellt sind Sensorelemente zur Erfassung der Lage der rotierenden Welle, deren Werte dem Magnetlagersteller 3 zugeführt sind, um einen Regelkreis auszubilden und die Welle geregelt in einer vorgebbaren Lage zu halten. Die elektromotorische Antriebsvorrichtung 7 kann mit weiteren, rotierenden Teilen verbunden sein, zum Beispiel mit einer Pumpe. Die gesamte rotierende Anordnung kann von einer Vielzahl von Magnetlagern 6 berührungsfrei gelagert sein, welche Magnetlager 6 alle von einer Anordnung gemäss Fig. 1 angesteuert sind, indem die Vielzahl der Magnetlager 6 über Magnetlagersteller 3 mit dem Zwischenkreis 2a verbunden sind. Im Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 1 ist der Übersichtlichkeit halber nur eine einzige berührungsfreie Lagerstelle dargestellt. Zur vollständig berührungsfreien Lagerung einer rotierenden Welle sind jedoch zumindest zwei, in axialer Richtung

versetzt angeordnete Lagerstellen mit insgesamt vier Magnetlager 6, je zwei in X- und Y-Richtung wirkend, erforderlich. Die Drehzahl des Rotors wird mit einem Winkel- oder Drehzahlsensor 9f erfasst und über eine elektrische Leitung 9g der Anhaltesteuervorrichtung 8 zugeführt.

Ein mit dem Zwischenkreis 2a verbundener Spannungswandler 4 versorgt über eine elektrische Leitung 4a die Anhaltesteuervorrichtung 8 mit elektrischer Energie. Der Spannungswandler 4 ist als ein getakteter Weitbereichseingangs-DC/DC-Wandler ausgestaltet und ist in der Lage, aus der am Zwischenkreis 2a anliegenden, je nach Betriebszustand in einem weiten Bereich schwankenden Spannung, eine annähernd konstante Spannung zu erzeugen und damit die Anhaltesteuervorrichtung 8 zu versorgen. Es ist insbesondere wichtig, dass die Anhaltesteuervorrichtung 8 auch bei einer sehr geringen Zwischenkreisspannung noch zuverlässig betreibbar ist. Die am Zwischenkreis 2a anliegende Spannung wird von einem Spannungssensor 9b erfasst und über eine elektrische Signalleitung 9d der Überwachungsvorrichtung 9 zugeführt, welche die ermittelten Spannungswerte der Anhaltesteuervorrichtung 8 über die Signalleitung 9e zuführt. Sobald die Anhaltesteuervorrichtung 8 einen Notausfall oder eine Netzunterspannung detektiert, wird die Antriebsregelungsvorrichtung 2b sowie die Magnetlagersteller 3 von der Anhaltesteuervorrichtung 8 über Steuerleitungen 8a, 8b, 8c angesteuert, bis die rotierende Welle zum Stillstand und in eine definierte Ruhelage gebracht worden ist. Die Anhaltesteuervorrichtung 8 kann über eine Signalleitung 8d ein Fehlersignal einer übergeordneten Überwachungsvorrichtung übermitteln.

Die Antriebsregelungsvorrichtung 2b ist bevorzugt als Vektorregelungsvorrichtung 2b ausgestaltet, die nach dem Verfahren der feldorientierten Steuerung bzw. Regelung arbeitet, weil es so möglich ist, während des Umkehrbetriebs des Antriebsumrichters 2 aus der tieferen Motorspannung der Antriebsvorrichtung 7 eine höhere Zwischenkreisspannung zu erzeugen und diese Zwischenkreisspannung aufrechtzuerhalten bis die Drehzahl der rotierenden Welle Null oder zumindest annähernd Null ist.

Das Diagramm gemäss Fig. 2 zeigt an einem beispielhaften Anhaltvorgang wichtige Systemgrößen in Funktion der Zeit. Die Kurve 20 stellt den Spannungsverlauf des Zwischenkreises 2a in Funktion der Zeit dar. Auf Grund eines Netzausfalles bricht die Zwischenkreisspannung zusammen, was vom Sensor 9b überwacht und der Anhaltesteuervorrichtung 8 übermittelt wird. Zum Zeitpunkt t_f unterschreitet die Zwischenkreisspannung einen vorgebbaren Spannungswert, worauf die Anhaltesteuervorrichtung 8 aktiviert wird um die Antriebsvorrichtung 7 zum Stillstand zu bringen. Die Kurve 22 beschreibt die Drehzahl der Antriebsvorrichtung 7 in Funktion der Zeit, wobei die Drehzahl zwischen dem Zeitpunkt t_f und dem Zeitpunkt t_0 bis zum Wert Null absinkt, sodass die Antriebsvorrichtung 7 zum Zeitpunkt

zum Stillstand gekommen ist. Während der Zeitspanne zwischen t_f und t_0 wird der Antriebsumrichter 2 durch die Anhaltesteuervorrichtung 8 derart als ein gesteuerter Gleichrichter betrieben, dass die tiefere Motorspannung der Asynchronmaschine 7 in eine höhere Zwischenkreisspannung transformiert wird, sodass diese Zwischenkreisspannung, wie aus dem Kurvenverlauf 20 ersichtlich, während der betrachteten Zeitspanne teilweise einen höheren Spannungswert aufweist, als die Zwischenkreisspannung vor dem Zeitpunkt t_f . Dabei wird die Asynchronmaschine 7 durch die Vektorregelungsvorrichtung 2b mit einem Vektorregelverfahren betrieben, um der Asynchronmaschine 7 geregelt kinetische Energie zu entziehen, diese gesteuert abzubremesen, und die entzogenen Energie in elektrische Energie umzuwandeln. Im dargestellten Ablaufbeispiel eines Anhaltvorganges wird die Spannung des Zwischenkreises 2a während der gesamten Zeitspanne zwischen t_f und t_0 auf einem möglichst konstanten Wert gehalten. Dabei wird die Anhaltesteuervorrichtung 8 sowie die Magnetlagersteller 3 über den Zwischenkreis 2a mit elektrischer Energie versorgt. Die Magnetlagersteller 3 werden über die Steuerleitungen 8b, 8c derart von der Anhaltesteuervorrichtung 8 angesteuert, dass, wie im Kurvenverlauf 23 dargestellt, die Lage der rotierenden Welle zumindest bezüglich der Y-Richtung bis zum Ablauf des Zeitpunktes t_0 beibehalten wird, und daraufhin die Lage der stillstehenden Welle abgesenkt wird, bis die Welle sich in einer Ruhelage befindend auf einem Lagerteil aufliegt. Der Zwischenkreis 2a weist zum Zeitpunkt t_0 annähernd eine Nennspannung auf, sodass die sich im Zwischenkreis 2a, im Antriebsumrichter 2, im Magnetlagersteller 3 oder im Spannungswandler 4 befindlichen Energiespeicher wie Kondensatoren zum Zeitpunkt t_0 noch annähernd vollständig geladen sind. Diese gespeicherte Energie wird im dem Zeitpunkt t_0 folgenden Zeitabschnitt verwendet, um die Anhaltesteuervorrichtung 8 sowie die Magnetlagersteller 3 weiterhin mit Energie zu versorgen, um die Welle nach dem Stillstand in eine Ruhelage zu bringen. Nachdem der Anhaltvorgang derart abgeschlossen ist, wird, wie aus der ein Fehlersignal darstellenden Kurve 21 ersichtlich, zum Zeitpunkt t_e ein Fehlersignal über die Signalleitung 8d einer übergeordneten Überwachungsvorrichtung mitgeteilt. Nach dem Zeitpunkt t_0 sinkt die Zwischenkreisspannung entsprechend dem Verlauf der Kurve 20 zunehmend ab.

Das in Fig. 2 dargestellte Ausführungsbeispiel eines Anhaltverfahrens weist die folgenden Schritte auf:

1. Detektion einer Netzunterspannung oder eines Netzausfalles
2. Regeneratives Abbremsen der Antriebsmaschine 7 unter Erzeugung elektrischer Energie bis die Drehzahl des Rotors Null oder annähernd Null beträgt
3. Absenken des Rotors durch die Magnetlager 6
4. Übermittlung einer Fehlermeldung an eine über-

geordnete Steuerung

Die Spannung im Zwischenkreis 2a kann während dem regenerativ wirkenden Arbeitsmodus durch das Vektorregelverfahren derart geregelt werden, dass diese Spannung im Zeitraum zwischen t_f und t_g regeltechnisch optimiert wird, um einen möglichst grossen Energieanteil in den jeweiligen Energiespeichern einzulagern, damit nach dem Zeitpunkt t_g ausreichend Energie zum Betreiben der Anhaltesteuervorrichtung 8 sowie der Magnettagersteller 3 zur Verfügung steht.

Dank der verwendeten Vektorregelung kann über einen grossen Drehzahlbereich des Rotors eine hohe Spannung am Zwischenkreis 2a erzeugt werden.

Es kann sich als vorteilhaft erweisen zwischen dem Magnettagersteller 3 und den Magnettagern 6, wie in Fig. 1 dargestellt, einen zusätzlichen Spannungswandler 5 anzuordnen, um die Magnettager 6 mit einer genügend hohen Spannung zu versorgen.

In Fig. 2 ist nur ein Anhaltevorgang aus einer Vielzahl möglicher Zeitverläufe dargestellt. So könnte zum Beispiel das Absenken der Rotorwelle auch bereits dann eingeleitet werden, wenn die Drehzahl einen vorgebbaren Sollwert unterschreitet, und zum Beispiel einen Wert von 1% der Nenndrehzahl aufweist. Dabei würde die Rotorwelle, nach dem Ausschalten der Magnettager 3, mit einer geringen Drehzahl drehend mit dem feststehenden Lager in Berührung kommen und bis zum Stillstand auslaufen. Insbesondere bei sehr schwer ausgestatteten Rotorwellen besteht die Möglichkeit, dass die im Zwischenkreis gespeicherte Energie nicht genügt, um den Rotor vor dem Absenken vollständig zum Stillstand zu bringen, sodass das feststehende Notlauflager derart auszugestaltet ist, dass der Rotor ohne oder mit nur sehr geringer Beschädigung des Lagers bis zum Stillstand auslaufen kann.

Fig. 3 zeigt ein Betriebsverfahren zum Überbrücken einer nur sehr kurz dauernden Netzstörung. Die Kurve 20 stellt wiederum den Spannungsverlauf des Zwischenkreises 2a in Funktion der Zeit dar. Auf Grund eines Absinkens der Netzspannung bricht die Zwischenkreisspannung zusammen, was vom Sensor 9b überwacht wird. Zum Zeitpunkt t_f unterschreitet die Zwischenkreisspannung einen vorgebbaren Spannungswert, worauf die Anhaltesteuervorrichtung 8 aktiviert wird. Der Antriebsumrichter 2 wird in einen regenerativ wirkenden Arbeitsmodus umgeschaltet, um die Zwischenkreisspannung anzuheben und damit die elektrische Versorgung der die Magnettager 6 speisenden Stellvorrichtungen 3 sowie der Anhaltesteuervorrichtung 8 zu gewährleisten. Zum Zeitpunkt t_g stellt der Spannungssensor 9a fest, dass die Netzstörung beendet ist. Daraufhin wird der Antriebsumrichter 2 durch die Anhaltesteuervorrichtung 8 in einen auf die Antriebsvorrichtung 7 antreibend wirkenden Arbeitsmodus umgeschaltet, wobei, wie in Kurve 20 dargestellt, die Zwischenkreisspannung auf einen Normalwert absinkt, und, wie in Kurve 22 dargestellt, die Drehzahl des rotie-

renden Teils wieder auf eine Nenndrehzahl ansteigt. Die Kurve 23, welche die Lage des rotierenden Teils in Y-Richtung darstellt, erfährt nie eine Änderung, was bedeutet, dass die Lage des rotierenden Teils trotz dem Auftreten einer Netzstörung keine Änderung erfährt. Die Zeitpunkte t_o und t_e sind dargestellt um den Unterschied zum Ablauf gemäss Fig. 2 zu verdeutlichen. Diese Zeitpunkte sind jedoch für das Verfahren gemäss Fig. 3 bedeutungslos. Gemäss dem Verlauf der Kurve 21 wird kein Fehlersignal einer übergeordneten Vorrichtung übermittelt.

Das in Fig. 3 dargestellte Ausführungsbeispiel eines Betriebsverfahrens weist die folgenden Schritte auf:

1. Detektion einer Netzstörung
2. Regeneratives Abbremsen der Antriebsmaschine 7 unter Erzeugung elektrischer Energie
3. Detektion des Endes der Netzstörung
4. Kontrolle der Drehzahl und der Lage des Rotors
5. Falls es die Systemstabilität erlaubt:

Antreiben der Antriebsmaschine 7 mit aus dem Netz bezogener Energie und beschleunigen des Rotors auf eine Nenndrehzahl ansonst: weiteres regeneratives Abbremsen der Antriebsmaschine 7 bis die Drehzahl des Rotors Null oder annähernd Null beträgt und anschliessendes Absenken des Rotors durch die Magnettager 6 in eine Ruhelage.

Es versteht sich, dass die Erfindung nicht auf die in dem Ausführungsbeispiel erwähnte Asynchronmaschine beschränkt ist. Die Antriebsvorrichtung 7 der erfindungsgemässen Anordnung bzw. die mit dem erfindungsgemässen Verfahren betriebenen Antriebsvorrichtung 7 kann natürlich auch eine andere Art von elektrischer Maschine sein, insbesondere eine Synchronmaschine oder eine bürstenlose Gleichstrommaschine oder eine Reluktanzmaschine. Die vorstehenden Erläuterungen anhand des Ausführungsbeispiels gelten in sinngemäss gleicher Weise auch für bürstenlose Gleichstrommaschinen, Reluktanzmaschinen, Synchronmaschinen und elektrische Maschinen allgemein. Die Anwendung der bevorzugten feldorientierten Regelung für die Steuerung von Synchronmaschinen wird beispielsweise in dem bereits vorne zitierten Buch "Digitale Regelung elektrischer Antriebe" behandelt.

Patentansprüche

1. Anordnung zum Betreiben einer magnetgelagerten, elektromotorischen Antriebsvorrichtung (7) bei einer Netzstörung, dadurch gekennzeichnet, dass ein die Antriebsvorrichtung (7) speisender Antriebsumrichter (2), eine ein Magnettager speisende Stellvorrichtung (3) sowie ein Spannungswandler (4) an einem gemeinsamen Zwischenkreis (2a) an-

geschlossen sind, dass der Spannungswandler (4) eine Anhaltesteuervorrichtung (8) speist, und dass beim Auftreten einer Netzstörung der Antriebsumrichter (2) durch die Anhaltesteuervorrichtung (8) in einen regenerativ wirkenden Arbeitsmodus umschaltbar ist, um zumindest die das Magnetlager (6) speisende Stellvorrichtung (3) und die Anhaltesteuervorrichtung (8) über den Zwischenkreis (2a) mit elektrischer Energie zu versorgen.

2. Anordnung nach Anspruch 1, mit einer Vektorregelungsvorrichtung (2b) zum feldorientierten Steuern der Antriebsvorrichtung (7) und des Antriebsumrichters (2).
3. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Antriebsumrichter (2) und/oder die Stellvorrichtung (3) und/oder der Spannungswandler (4) einen Kondensator zur Energiespeicherung umfasst.
4. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Antriebsvorrichtung (7) als eine elektrische Maschine, insbesondere als eine Induktionsmaschine, eine Synchronmaschine, eine Reluktanzmaschine oder eine bürstenlose Gleichstrommaschine ausgebildet ist.
5. Verfahren zum Betreiben einer magnetgelagerten, elektromotorischen Antriebsvorrichtung (7) bei einer Netzstörung, dadurch gekennzeichnet, dass die Netzstörung erkannt wird, dass der die Antriebsvorrichtung (7) speisende Antriebsumrichter (2) daraufhin zur elektrischen Energieerzeugung in einem regenerativ wirkenden Arbeitsmodus betrieben wird, und dass die elektrische Energie einer ein Magnetlager (6) speisenden Stellvorrichtung (3) sowie einer Anhaltesteuervorrichtung (8) zugeführt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass durch die Anhaltesteuervorrichtung (8) der rotierbare Teil der Antriebsvorrichtung (7) kontrolliert in eine Ruhelage gebracht wird.
7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass, sofern der rotierbare Teil der Antriebsvorrichtung (7) beim Ende der Netzstörung noch magnetisch gelagert ist, der Antriebsumrichter (2) durch die Anhaltesteuervorrichtung (8) in einen antreibend wirkenden Arbeitsmodus umgeschaltet wird, damit die Antriebsvorrichtung (7) wieder auf eine Nonndrehzahl gebracht wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass zum regenerativen Abbremsen der Antriebsvorrichtung (7) ein feldorientiertes Regelverfahren bzw. eine Vektorregelung

verwendet wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass während dem regenerativen Abbremsen der Antriebsvorrichtung (7) die an den Zwischenkreis (2a) abgegebene Spannung maximiert wird, und der Spannungswert insbesondere über einen während einem Normalbetrieb im Zwischenkreis (2a) anliegenden Wert angehoben wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass während dem regenerativen Abbremsen der Antriebsvorrichtung (7) ein im Antriebsumrichter (2) und/oder in der Stellvorrichtung (3) und/oder im Spannungswandler (4) angeordneter Energiespeicher auf einen möglichst hohen Wert geladen wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass beim Unterschreiten einer vorgebbaren Drehzahl oder bei Stillstand der Antriebsvorrichtung (2) mit Hilfe der im Zwischenkreis (2a) verfügbaren, gespeicherten Restenergie die Magnetlager (6) kontrolliert deaktiviert und dabei die rotierbaren Teile in eine Ruhelage gebracht werden.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass mit Hilfe der gespeicherten Restenergie ein Fehlersignal erzeugt und dieses einer übergeordneten Überwachungsvorrichtung übermittelt wird.
13. Rotierbare, magnetgelagerte Vorrichtung aufweisend eine Anordnung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4 oder betrieben mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 12.

Fig.1

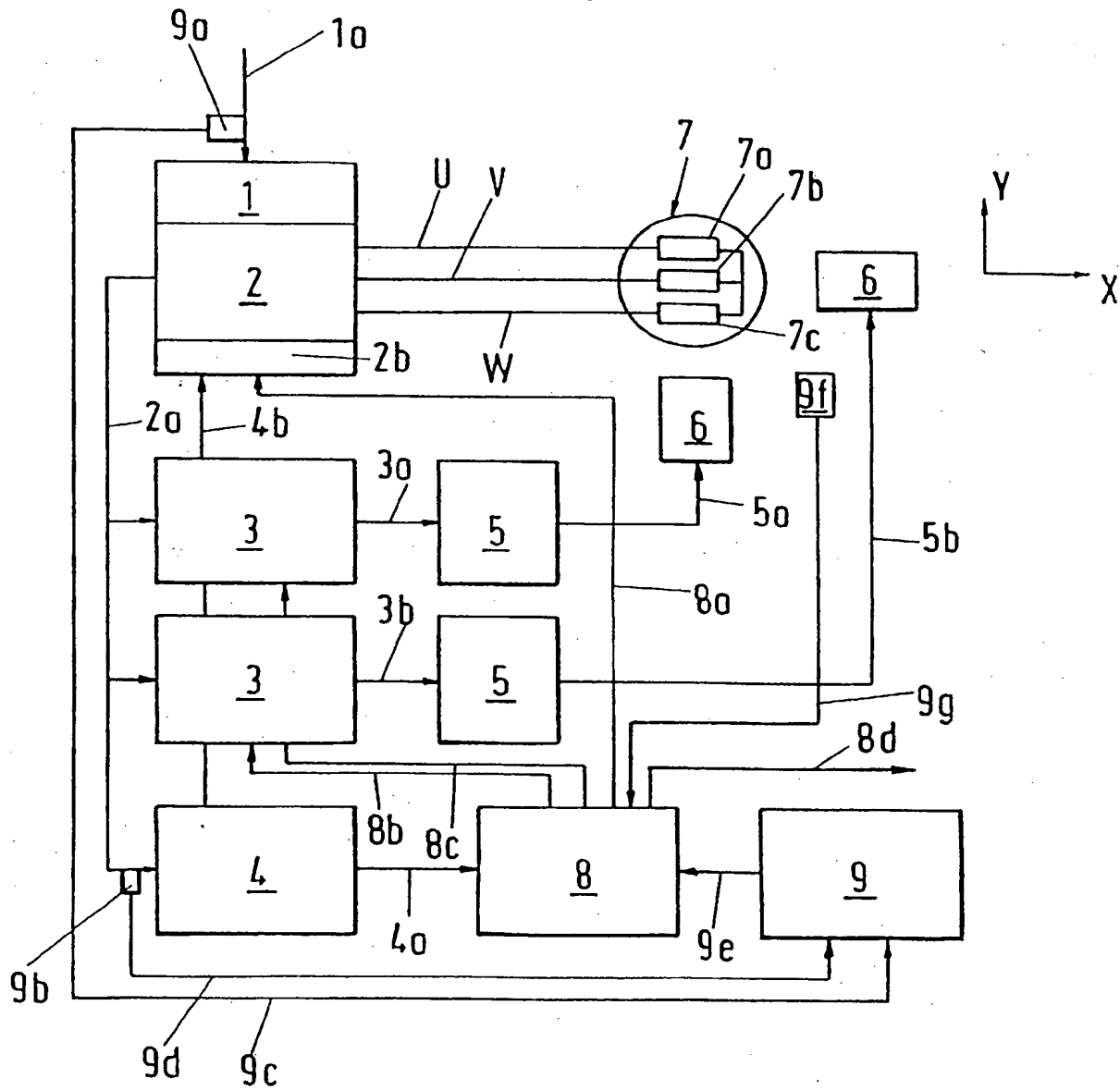


Fig.2

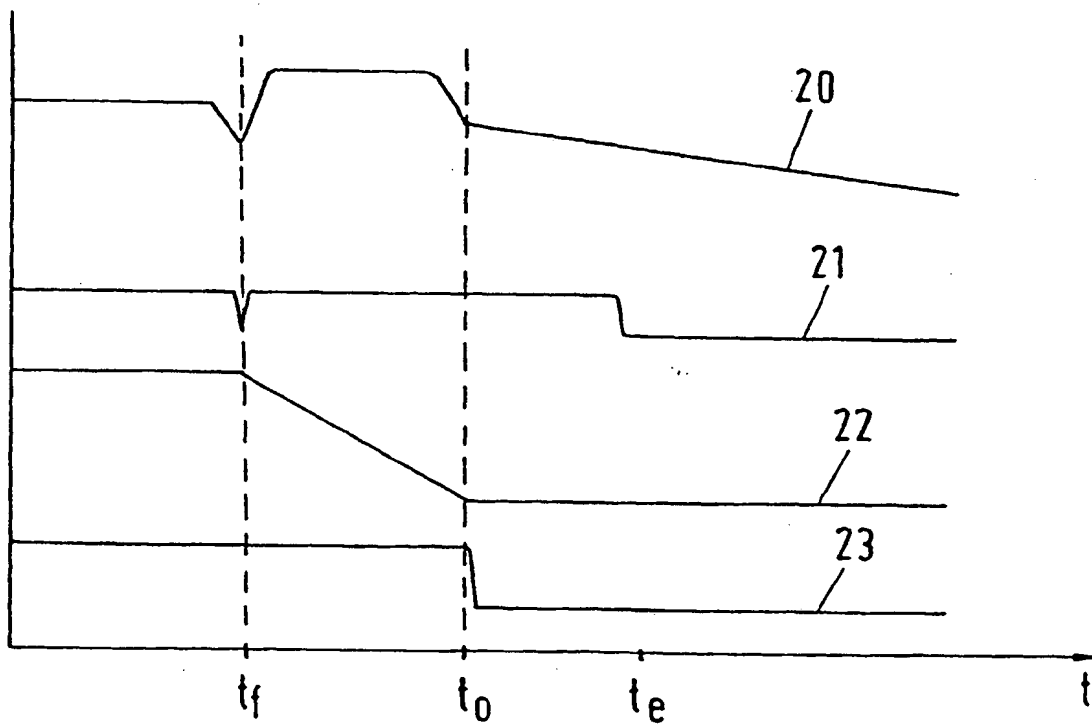
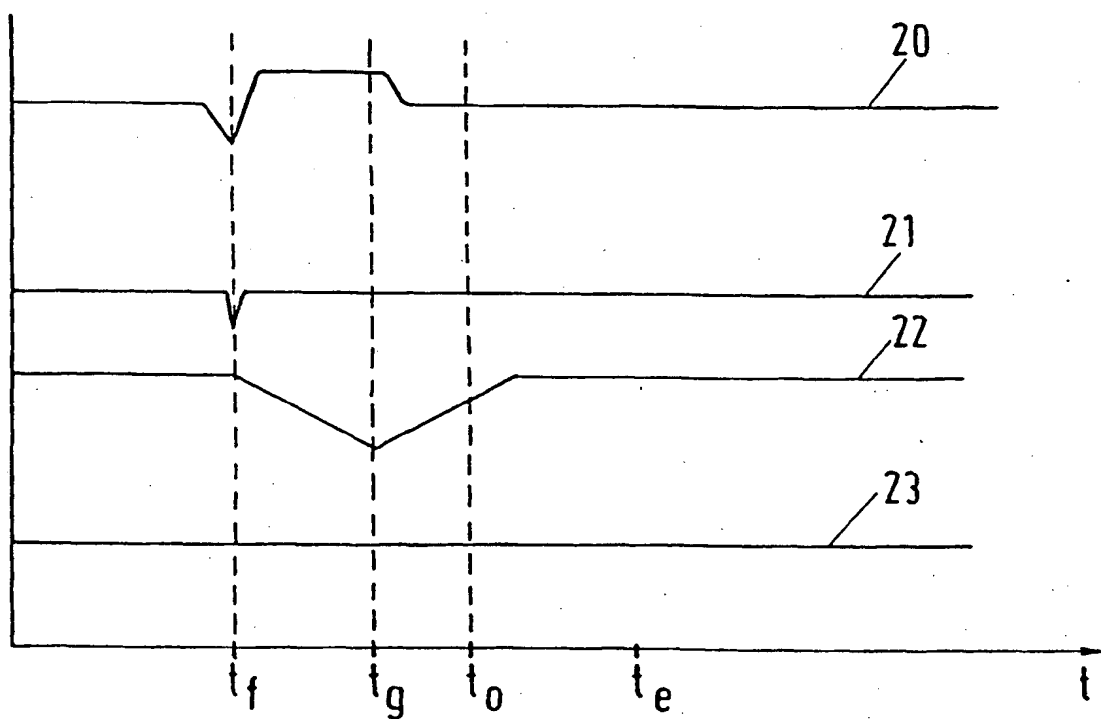


Fig.3





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 97 81 0434

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
X	DE 195 06 849 A (NTN TOYO BEARING CO LTD) 31. August 1995 * das ganze Dokument *	1,4,5. 12,13	H02J9/06
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 95, no. 011 & JP 07 293563 A (EBARA CORP). 7. November 1995. * Zusammenfassung *	1,4,5.13	
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 95, no. 005 & JP 07 127594 A (SHIMADZU CORP). 16. Mai 1995. * Zusammenfassung *	1,4,5.13	
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 013, no. 295 (E-783). 7. Juli 1989 & JP 01 074081 A (HITACHI LTD). 20. März 1989. * Zusammenfassung *	1,4,5.13	
Y.D	EP 0 430 009 A (CIT ALCATEL) 5. Juni 1991 * das ganze Dokument *	1,5	
Y	FR 2 336 819 A (BERTIN & CIE) 22. Juli 1977 * das ganze Dokument *	1,5	H02J
A	DE 43 06 307 A (SIEMENS AG) 8. September 1994 * Zusammenfassung; Abbildung 1 *	1-13	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
DEN HAAG		16. Dezember 1997	Moyle, J
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T: der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E: älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D: in der Anmeldung angeführtes Dokument L: aus anderen Gründen angeführtes Dokument S: Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X: von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y: von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A: technologischer Hintergrund O: nichtschriftliche Offenbarung P: Zwischenliteratur			

EP 97 81 0434 (P) (A) (C) (D) (E) (F) (G) (H) (I) (J) (K) (L) (M) (N) (O) (P) (Q) (R) (S) (T) (U) (V) (W) (X) (Y) (Z) (AA) (AB) (AC) (AD) (AE) (AF) (AG) (AH) (AI) (AJ) (AK) (AL) (AM) (AN) (AO) (AP) (AQ) (AR) (AS) (AT) (AU) (AV) (AW) (AX) (AY) (AZ) (BA) (BB) (BC) (BD) (BE) (BF) (BG) (BH) (BI) (BJ) (BK) (BL) (BM) (BN) (BO) (BP) (BQ) (BR) (BS) (BT) (BU) (BV) (BW) (BX) (BY) (BZ) (CA) (CB) (CC) (CD) (CE) (CF) (CG) (CH) (CI) (CJ) (CK) (CL) (CM) (CN) (CO) (CP) (CQ) (CR) (CS) (CT) (CU) (CV) (CW) (CX) (CY) (CZ) (DA) (DB) (DC) (DD) (DE) (DF) (DG) (DH) (DI) (DJ) (DK) (DL) (DM) (DN) (DO) (DP) (DQ) (DR) (DS) (DT) (DU) (DV) (DW) (DX) (DY) (DZ) (EA) (EB) (EC) (ED) (EE) (EF) (EG) (EH) (EI) (EJ) (EK) (EL) (EM) (EN) (EO) (EP) (EQ) (ER) (ES) (ET) (EU) (EV) (EW) (EX) (EY) (EZ) (FA) (FB) (FC) (FD) (FE) (FF) (FG) (FH) (FI) (FJ) (FK) (FL) (FM) (FN) (FO) (FP) (FQ) (FR) (FS) (FT) (FU) (FV) (FW) (FX) (FY) (FZ) (GA) (GB) (GC) (GD) (GE) (GF) (GG) (GH) (GI) (GJ) (GK) (GL) (GM) (GN) (GO) (GP) (GQ) (GR) (GS) (GT) (GU) (GV) (GW) (GX) (GY) (GZ) (HA) (HB) (HC) (HD) (HE) (HF) (HG) (HH) (HI) (HJ) (HK) (HL) (HM) (HN) (HO) (HP) (HQ) (HR) (HS) (HT) (HU) (HV) (HW) (HX) (HY) (HZ) (IA) (IB) (IC) (ID) (IE) (IF) (IG) (IH) (II) (IJ) (IK) (IL) (IM) (IN) (IO) (IP) (IQ) (IR) (IS) (IT) (IU) (IV) (IW) (IX) (IY) (IZ) (JA) (JB) (JC) (JD) (JE) (JF) (JG) (JH) (JI) (JJ) (JK) (JL) (JM) (JN) (JO) (JP) (JQ) (JR) (JS) (JT) (JU) (JV) (JW) (JX) (JY) (JZ) (KA) (KB) (KC) (KD) (KE) (KF) (KG) (KH) (KI) (KJ) (KK) (KL) (KM) (KN) (KO) (KP) (KQ) (KR) (KS) (KT) (KU) (KV) (KW) (KX) (KY) (KZ) (LA) (LB) (LC) (LD) (LE) (LF) (LG) (LH) (LI) (LJ) (LK) (LM) (LN) (LO) (LP) (LQ) (LR) (LS) (LT) (LU) (LV) (LW) (LX) (LY) (LZ) (MA) (MB) (MC) (MD) (ME) (MF) (MG) (MH) (MI) (MJ) (MK) (ML) (MN) (MO) (MP) (MQ) (MR) (MS) (MT) (MU) (MV) (MW) (MX) (MY) (MZ) (NA) (NB) (NC) (ND) (NE) (NF) (NG) (NH) (NI) (NJ) (NK) (NL) (NM) (NN) (NO) (NP) (NQ) (NR) (NS) (NT) (NU) (NV) (NW) (NX) (NY) (NZ) (OA) (OB) (OC) (OD) (OE) (OF) (OG) (OH) (OI) (OJ) (OK) (OL) (OM) (ON) (OO) (OP) (OQ) (OR) (OS) (OT) (OU) (OV) (OW) (OX) (OY) (OZ) (PA) (PB) (PC) (PD) (PE) (PF) (PG) (PH) (PI) (PJ) (PK) (PL) (PM) (PN) (PO) (PP) (PQ) (PR) (PS) (PT) (PU) (PV) (PW) (PX) (PY) (PZ) (QA) (QB) (QC) (QD) (QE) (QF) (QG) (QH) (QI) (QJ) (QK) (QL) (QM) (QN) (QO) (QP) (QQ) (QR) (QS) (QT) (QU) (QV) (QW) (QX) (QY) (QZ) (RA) (RB) (RC) (RD) (RE) (RF) (RG) (RH) (RI) (RJ) (RK) (RL) (RM) (RN) (RO) (RP) (RQ) (RR) (RS) (RT) (RU) (RV) (RW) (RX) (RY) (RZ) (SA) (SB) (SC) (SD) (SE) (SF) (SG) (SH) (SI) (SJ) (SK) (SL) (SM) (SN) (SO) (SP) (SQ) (SR) (SS) (ST) (SU) (SV) (SW) (SX) (SY) (SZ) (TA) (TB) (TC) (TD) (TE) (TF) (TG) (TH) (TI) (TJ) (TK) (TL) (TM) (TN) (TO) (TP) (TQ) (TR) (TS) (TT) (TU) (TV) (TW) (TX) (TY) (TZ) (UA) (UB) (UC) (UD) (UE) (UF) (UG) (UH) (UI) (UJ) (UK) (UL) (UM) (UN) (UO) (UP) (UQ) (UR) (US) (UT) (UU) (UV) (UW) (UX) (UY) (UZ) (VA) (VB) (VC) (VD) (VE) (VF) (VG) (VH) (VI) (VJ) (VK) (VL) (VM) (VN) (VO) (VP) (VQ) (VR) (VS) (VT) (VU) (VV) (VW) (VX) (VY) (VZ) (WA) (WB) (WC) (WD) (WE) (WF) (WG) (WH) (WI) (WJ) (WK) (WL) (WM) (WN) (WO) (WP) (WQ) (WR) (WS) (WT) (WU) (WV) (WW) (WX) (WY) (WZ) (XA) (XB) (XC) (XD) (XE) (XF) (XG) (XH) (XI) (XJ) (XK) (XL) (XM) (XN) (XO) (XP) (XQ) (XR) (XS) (XT) (XU) (XV) (XW) (XX) (XY) (XZ) (YA) (YB) (YC) (YD) (YE) (YF) (YG) (YH) (YI) (YJ) (YK) (YL) (YM) (YN) (YO) (YP) (YQ) (YR) (YS) (YT) (YU) (YV) (YW) (YX) (YY) (YZ) (ZA) (ZB) (ZC) (ZD) (ZE) (ZF) (ZG) (ZH) (ZI) (ZJ) (ZK) (ZL) (ZM) (ZN) (ZO) (ZP) (ZQ) (ZR) (ZS) (ZT) (ZU) (ZV) (ZW) (ZX) (ZY) (ZZ)